

## **SIMULASI PENGERING GABAH TIPE RESIRKULASI MENGUNAKAN KONVEYOR PNEUMATIK<sup>1)</sup>**

**(Study on Re-circulation Drying of Rough Rice  
Using Pneumatic Conveyor)**

**Totok Prasetyo, Kamaruddin Abdullah<sup>2)</sup>, Armansyah. H. Tambunan<sup>2)</sup>,  
Leopold Nelwan<sup>2)</sup>, dan I Made K.D.<sup>2)</sup>**

### **ABSTRACT**

*Re-circulating rice dryers suitable for large amount of loading capacity. It generally comprises of two parts, the tempering section and a drying section, and the grains are dried in an intermittent way until the final moisture content of the grains can be achieved. Wet grains are initially dried for about 11 minutes within the drying section of the dryer. The grains then are conveyed to the tempering section where it will be stored for about 40 to 50 minutes. At every passes, about less than 2%(wb) of the moisture content can be removed from the grains. The number of passes required to accomplish a drying process in a recirculation dryer depends on the initial moisture content and the amount of rough rice to be dried. The drying and tempering duration can be adjusted by means of a mechanical valve. The purpose of this study was to examine the performance of re-circulating dryers equipped with pneumatic conveyor instead of bucket elevator to reduce electricity cost and heated using a proper blend between kerosene and jatropa oil. Several experimental runs had been conducted under a constant drying temperature of 60°C and was controlled by adjusting the rate of fuel consumption. The experimental results showed that the drying efficiency was in the range of 22.2% to 31.1%, the specific energy consumption was between 3.475-4.785 MJ/kg H<sub>2</sub>O evaporated, fuel consumption at 0.95 to 1.15 (liters/hr) and the drying rate was 0.9%/hr. The entire drying operation using 465 kg of rough rice required 10 hours of drying time with 74.3% of head yield. Mathematical model used in this study also had indicated close agreement with experimental data.*

*Key words: re-circulating dryer, pneumatic conveyor, drying performance, tempering period, bio-kerosene blend*

### **PENDAHULUAN**

Salah satu aspek penting dalam pengembangan sistem agribisnis padi adalah penanganan pascapanen. Hal tersebut terkait dengan masalah kehilangan hasil yang terjadi pada kegiatan panen dan pascapanen baik berupa kehilangan bobot (kuantitatif) maupun berupa penurunan mutu dan kerusakan fisik (kualitatif) yang cukup tinggi. Kehilangan hasil pada proses pengeringan secara dijemur di Indonesia adalah 2.3 dan 2.6% (Komuro, 1995), dengan produksi gabah pada tahun 2008 diprediksi sebesar 59.877 juta ton gabah kering panen (GKP) (BPS,

---

<sup>1)</sup> Bagian dari disertasi penulis pertama, Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, Sekolah Pascasarjana IPB

<sup>2)</sup> Berturut-turut Ketua dan Anggota Komisi Pembimbing

2008) yang berarti terdapat 1.47 juta ton gabah hilang karena penjemuran atau setara dengan Rp 3.53 triliun.

Mendung ataupun hujan yang tidak menentu mengakibatkan pengeringan dengan dijemur sering tidak dapat dilakukan. Bahkan, penelitian Afif (1988) menunjukkan bahwa pengeringan pada bulan Desember-April di daerah Jatiluhur tingkat keberhasilannya hanya 17%. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keberhasilan pengeringan diperlukan pengering mekanis.

Pengeringan mekanis komersial yang menggunakan udara panas dari pembakaran bahan bakar dengan memanfaatkan alat penukar panas, pada umumnya menggunakan tipe *fixed batch dryer* (*box dryer*, *inclined bed dryer* *flat bed*), *continuous flow* dan *re-circulating batch*. Penggunaan tipe *fixed batch* mempunyai keunggulan sederhana, murah, dan mudah, tetapi mempunyai kelemahan gradien kadar air antara bagian bawah dan atas yang dapat mencapai 3-4% (IRRI, 2003), serta apabila menggunakan udara pengering bersuhu tinggi akan terjadi *over drying* di bagian bawah.

Untuk tipe resirkulasi yang juga dikenal dengan *intermittent drying* atau pengeringan bertahap secara umum terdapat dua bagian, yaitu bagian *tempering* dan bagian pengeringan. Bahan bersirkulasi melalui bagian-bagian tersebut sehingga proses pengeringan dan *tempering* terjadi bergantian. Umumnya digunakan *bucket conveyor* untuk meresirkulasikan bahan yang dikeringkan. Gabah bergerak selama pengeringan dengan laju yang konstan sehingga gabah yang akan dikeringkan dan gabah yang telah dikeringkan dijaga pada laju yang konsisten terhadap kapasitas pengeringan.

Proses resirkulasi dimaksudkan juga untuk mencegah terjadinya *over-drying* seperti pada proses pengering lainnya. Dalam resirkulasi setelah proses pengeringan bahan dinaikan lagi ke ruang *tempering* untuk menyamakan kondisi kadar airnya dan turun ke bagian pengeringan, bersirkulasi hingga kadar air tercapai sesuai yang dikehendaki.

Tujuan khusus penelitian ini adalah membuat simulasi serta merekayasa dan menguji kinerja pengering tipe resirkulasi dengan menggunakan konveyor pneumatik dan pemanas berbahan bakar campuran minyak tanah dan minyak jarak.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

Penelitian untuk analisis sifat termofisik bahan, pembuatan alat uji (sistem pengering resirkulasi), dan pengamatan hasil pengeringan dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Waktu penelitian dimulai bulan April 2008 sampai Juli 2008.

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam percobaan adalah gabah varietas Ciherang, yang didapat dari kelompok petani di daerah Bogor yang dipanen pada tanggal 18, 21 dan 23 Mei 2008.

Kadar air kesetimbangan  $M_e$  dan konstanta pengeringan  $k$  dihitung berdasarkan persamaan

$$M_e = 17.7700 \exp (-0.0516. \Delta T)/100 \dots\dots\dots (5)$$

dan

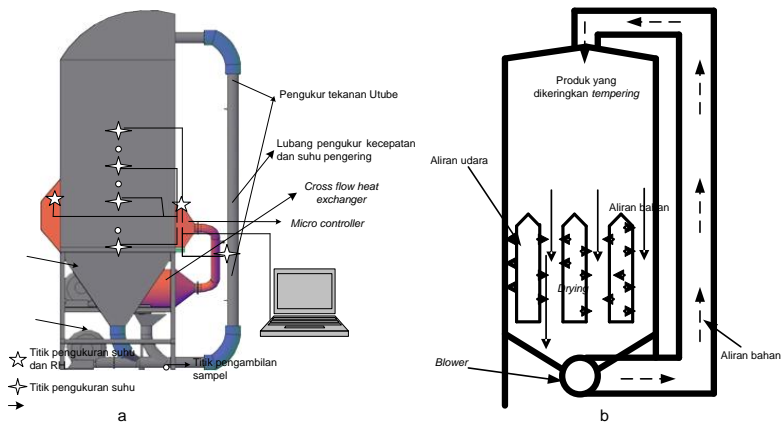
$$k = \exp (6.8274 - 4431.98/T) \min - 1 \dots\dots\dots (6)$$

sedangkan panas laten penguapan air dalam bahan  $\Delta h_{fg}/\Delta h_{fgw} = 1.298$  (Thahir, 1986).

Peralatan yang digunakan adalah pengering resirkulasi hasil perancangan, timbangan digital, anemomaster, sensor suhu, sensor suhu dan RH(SHT11), mikrokontroler 8051, termometer air raksa, gelas ukur, *stop watch*, Digital Moisture Meter, mesin penampi, dan *paddy husker*.

### Prosedur Percobaan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan alat pengering resirkulasi (Gambar 2). Pengering terdiri dari alat penukar panas dengan daya blower 0.25 HP; sistem konveyor pneumatik dengan daya motor 0.5 HP; bangunan ruang pengering dan tempering; kompor bertekanan dengan pompa listrik dan dilengkapi dengan seperangkat ukuisis data. Titik-titik pengukuran juga ditunjukkan pada Gambar 2. Suhu udara pengering dijaga pada suhu 60°C, dengan mengatur bukaan katup saluran bahan bakar. Prosedur percobaan adalah sebagai berikut.



**Gambar 2. Memperlihatkan alat pengering resirkulasi yang digambar dalam penelitian ini**

Gabah yang baru dipanen dibersihkan dari sisa-sisa jerami dan kotoran lainnya dengan menggunakan mesin penampi, kemudian ditimbang sebanyak 450 kg gabah kering panen dan dimasukkan ke dalam alat pengering resirkulasi, kompor dinyalakan, setelah tiga menit kemudian blower udara pengering dihidupkan sehingga laju udara pengering adalah 0.16 m<sup>3</sup>/detik. Ketika suhu udara pengering telah stabil pada 60°C, *blower* sistem konveyor pneumatik dihidupkan, kemudian katup aliran gabah dibuka pada ukuran tertentu sehingga didapat laju aliran gabah 6 kg/detik.

Pengambilan sampel dilakukan setiap jam sekali dari bagian atas ruang pengering dan di bagian bawah ruang pengering, kemudian dilakukan pengujian

kadar airnya baik dengan metode oven maupun menggunakan digital moisture meter.

Proses pengering berakhir ketika hasil pengujian kadar air dari sampel bagian atas ruang pengering dan dari bagian bawah ruang pengering sama dengan  $14\% \pm 0.5\%$  basis basah.

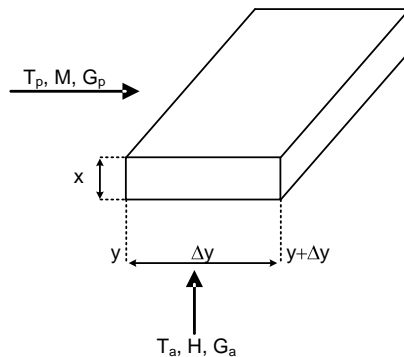
## Simulasi

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi pengeringan untuk alat pengering tipe resirkulasi, yang secara diagramatis ditunjukkan pada Gambar 2. Berikut ini disajikan pendekatan yang dilakukan dalam simulasi tersebut.

### Model matematika

Pengeringan adalah proses termofisik dan termokimia yang berhubungan dengan perpindahan panas dan perpindahan masa di dalam suatu material padat. Di dalam proses pengeringan udara digunakan untuk menghantar panas ke bahan sehingga terjadi penguapan kadar air serta membawa uap air keluar dari masa bahan. Udara panas mengalir melintang terhadap aliran bahan yang dikeringkan sehingga aliran panasnya dikenal dengan aliran melintang (*cross flow*).

Berdasarkan elemen volume ( $dx \, dy$ ), setiap satuan panjang pada setiap arah lokasi di dalam pergerakan bahan ditunjukkan oleh Gambar 1. Terdapat empat variabel (Bala, 1997), yaitu  $T_a$ ,  $T_p$ ,  $H$ , dan  $M$  sehingga diperlukan empat persamaan untuk menyelesaikannya, yaitu tiga persamaan diferensial parsial (Persamaan 1-3), dan satu persamaan untuk lapisan tipis (Persamaan 4) yang digunakan dalam kajian model simulasi ini.



Gabar 1. Elemen volume untuk proses pengeringan *cross flow*

### Persamaan keseimbangan masa

Perubahan kadar air dalam udara = Perubahan kadar air bahan. Keseimbangan masa nya adalah

$$[G_a H(x + dx) - G_a H(x)] dy = [G_p M(y) - G_p M(y + dy)] dx$$

Dengan menggunakan deret Taylor dan menghilangkan semua bentuk  $dx^2$ ,  $dy^2$  dan yang lebih tinggi, didapat

$$G_a \frac{\partial H}{\partial x} = -G_p \frac{\partial M}{\partial y} \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{G_p}{G_a} \frac{\partial M}{\partial y} \dots \dots \dots (7)$$

### Persamaan keseimbangan energi

Perubahan entalpi udara = pindah panas konvektif bahan dan yang diberikan oleh udara dalam menguapkan kadar air. Rumusan ini dapat dituliskan menjadi

$$G_a \left[ (C_{pa} + C_{pw}H(x + dx)) T_a(x + dx) + h_{fg}H(x + dx) \right] dy - G_a \left[ (C_{pa} + C_{pw}H(x)) T_a(x) + h_{fg}H(x) \right] dy = -h_{cv}(T_a - T_p)dxdy + G_a C_{pw} \frac{\partial H}{\partial x} dx dy + G_a \frac{\partial H}{\partial x} h_{fg} dx dy \frac{\partial T_a}{\partial x} = \frac{-\{h_{cv} + G_a C_{pw} \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right)\} (T_a - T_p)}{G_a (C_{pa} + C_{pw}H)} \dots \dots \dots (8)$$

### Persamaan laju pindah panas

Laju pindah panas antara udara dan bahan = Perubahan panas sensibel bahan + delta entalpi dan yang mengalir keluar.

$$G_p (C_{pp} + M(y + dy)C_{pl})T_p(y + dy)dx - G_p (C_{pp} + M(y)C_{pl})T_p(y)dx = -h_{cv}(T_a - T_p)dxdy - (h_{fg} + C_{pw}T_p)G_a \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right) dxdy \frac{\partial T_p}{\partial y} = - \frac{h_{cv}(T_a - T_p) - (G_a(h_{fg} + (C_{pw} - C_{pl}))T_p \left( \frac{\partial H}{\partial x} \right))}{G_p(C_{pp} + C_{pl}M)} \dots \dots \dots (9)$$

### Persamaan laju pengeringan

$\partial M / \partial t$  = menggunakan persamaan pengeringan lapisan tipis. Persamaan dasar perubahan kadar air bahan dari kadar air awal  $M_o$  ke kadar air akhir  $M$  untuk model pengeringan lapisan tipis, berdasarkan Thahir (1986) adalah sebagai berikut:

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{-kt}$$

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \dots \dots \dots (10)$$

Dari persamaan tersebut di atas terdapat 4 hal yang tidak diketahui, yaitu kadar air  $M$ ; kelembaban absolut udara pengering  $H$ ; suhu udara pengering  $T_a$ , dan suhu bahan  $T_p$ . Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan tersebut di atas digunakan teknik *finite difference*.

Parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi sebagai masukan adalah kadar air awal ( $M_o$ ), suhu gabah awal ( $T_{po}$ ), suhu udara pengering ( $T_a$ ), laju udara pengering, kelembaban mutlak udara ( $H$ ) yang diukur langsung dengan percobaan dilapangan, kelembaban relatif udara pengering (RH), serta beberapa parameter yang berhubungan dengan sifat udara dan gabah yang digunakan, yaitu sebagai berikut.

Panas jenis gabah  $C_{pp} = 1850$  (J/kgK)

Koefisien pindah panas konveksi  $h_{cv}$  berdasarkan persamaan (Brooker *et al.*, 1974):

$h_{cv} = 3.9178 (737.33 Ga)^{0.49}$  untuk  $Ga < 0.678$  km/m<sup>2</sup> dt

$h_{cv} = 2.0611 (737.33 Ga)^{0.59}$  untuk  $Ga > 0.678$  km/m<sup>2</sup> dt

Panas jenis air  $C_{pw} = 4187$  (J/kgK)

Panas jenis uap air  $C_{pv} = 1850$  (J/kgK)

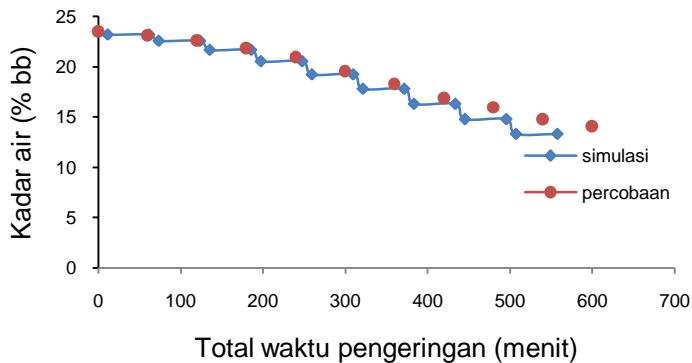
Panas jenis udara  $C_{pa} = 1008$  (J/kgK)

Panas laten penguapan  $h_{fg}$  didapat dari persamaan  $\Delta h_{fg} / \Delta h_{fgw} = 1.298$  (Thahir, 1986). Suatu program komputer yang ditulis dalam Visual basic (Versi 6.0, *Microsoft Corporation*) digunakan untuk simulasi model pengeringan resirkulasi gabah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kurva Pengeringan antara Simulasi dan Percobaan

Gambar 3 menunjukkan kurva penurunan kadar air selama proses pengeringan baik berdasarkan hasil simulasi maupun hasil pengukuran, dengan bahan yang dikeringkan 450 kg, kadar air awal 23.5% (bb). Berdasarkan simulasi, lama pengeringan 11.8 menit dan *tempering* 50 menit setiap siklus dan terdapat 9 kali siklus untuk mencapai kadar air akhir 12.9%(bb), didapat waktu pengeringan total adalah 557 menit. Berdasarkan percobaan, waktu pengeringan total selama 600 menit dan kadar air akhir 13.3%(bb).



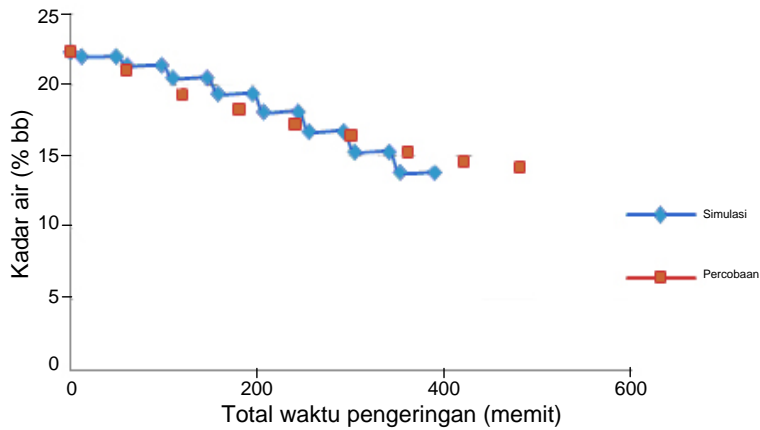
Gambar 3. Kurva penurunan kadar air antara percobaan dan simulasi dengan lama pengeringan 11.8 menit dan *tempering* 50 menit

Gambar 4 memperlihatkan bahwa dengan jumlah bahan yang dikeringkan 410 kg dan kadar awal bahan 22.3% (bb), berdasarkan simulasi di waktu pengeringan 11.8 menit, *tempering* 40 menit per siklus, untuk mencapai kadar air akhir 13.4% (bb) diperlukan 8 kali siklus sehingga total waktu pengeringan yang dibutuhkan adalah 463 menit. Berdasarkan percobaan, total waktu pengeringan yang diperlukan untuk mencapai kadar air akhir 13.8% adalah 540 menit dengan tingkat ketelitian penentuan kadar air akhir 2.9% dan waktu pengeringan 14%.

Kurva hasil percobaan tidak menggambarkan adanya proses *tempering* karena di dalam percobaan proses pengeringan terjadi sirkulasi terus-menerus, serta pengukuran dilakukan setiap jam pada titik sebelum dan setelah pengeringan saja.

Hasil simulasi menggunakan model pengeringan lapisan tipis mendekati hasil percobaan baik untuk penurunan kadar air maupun waktu yang diperlukan untuk pengeringan. Perbedaan yang terjadi adalah total waktu pengeringan pada percobaan, yaitu adalah 1.08 hingga 1.2 kali lebih lama jika dibandingkan dengan total waktu simulasi, serta kadar air akhir hasil pengeringan berdasarkan simulasi lebih rendah daripada hasil percobaan. Hal ini disebabkan oleh adanya asumsi dalam simulasi bahwa pada setiap saat, suhu dan RH udara pengering konstan, sedangkan secara percobaan keadaan udara pengering berubah oleh karena perubahan suhu dan RH udara lingkungan serta fluktuasi aliran bahan bakar.

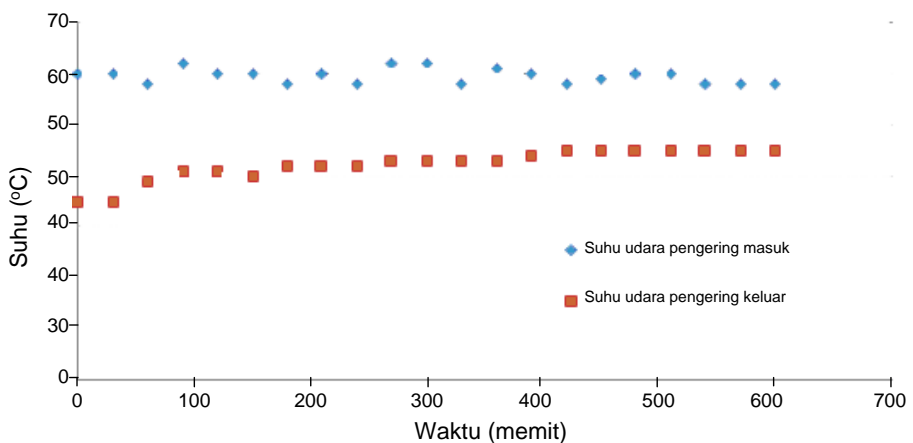
Selain itu, adanya perbedaan waktu pengukuran juga menyebabkan total waktu pengeringan berbeda.



Gambar 4. Kurva penurunan kadar air antara percobaan dan simulasi dengan lama pengeringan 11.8 menit dan *tempering* 40 menit

### Distribusi Suhu Udara Pengering Masuk dan Keluar

Suhu udara pengering masuk ruang pengering relatif konstan sebesar rata-rata  $59.52^{\circ}\text{C}$  dan RH 17.33%, dengan entalpi rata-rata 135.71(kJ/kg udara kering), sedangkan suhu udara keluar rata-rata  $42.29^{\circ}\text{C}$  dan RH rata-rata 53.57%, dengan entalpi rata-rata 135.58 (kJ/kg udara kering). Dengan demikian, entalpi udara pengering masuk dengan entalpi udara pengering keluar hampir sama, hal ini menunjukkan proses pengeringan terjadi secara entalpi konstan. Pada Gambar 5 tampak bahwa suhu udara keluar pengering semakin meningkat. Hal tersebut menandakan kadar air bahan semakin berkurang sehingga energi yang diperlukan untuk menguapkan air dalam bahan semakin kecil. Untuk kerja secara umum disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 5. Distribusi suhu udara pengering

Tabel 1. Unjuk kerja alat secara umum

Parameter	Satuan	Percobaan I	Percobaan II	Percobaan III
Massa gabah awal	kg	450	410	410
Kadar air awal	% bb	23.5	22.3	22.8
Kadar air akhir	% bb	13.95	14.15	14.20
Suhu udara lingkungan	°C	31	31	31
RH udara lingkungan	%	80	80	80
Suhu udara pengering rata-rata	°C	59.5	59.5	60
Rh udara pengering	%	19	20	18
Laju udara pengering	m <sup>3</sup> /dt	0.16	0.16	0.16
Daya blower udara pengering	Watt	125	125	125
Suhu udara pengering keluar rata-rata	°C	43	42	43
Laju udara pembawa	m <sup>3</sup> /dt	0.23	0.23	0.23
Daya blower udara pembawa	Watt	370	370	370
Total waktu pengeringan	jam	10	9	9
Konsumsi bahan bakar	Liter/jam	0.95	1.15	1.20
Efisiensi pengeringan	%	31.1	22.2	22.6
Beras kepala (thd beras pecah kulit)	%	74.3	72.69	72
Konsumsi energi spesifik	Mj/kg H <sub>2</sub> O	3.475	4.786	4.131

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

- (1) Simulasi komputer yang dibuat dapat digunakan untuk memprediksi waktu dan hasil akhir pengeringan, dengan ketelitian antara 85-93%.
- (2) Mesin pengering resirkulasi dirancang untuk kapasitas 500 kg/operasi, dengan suhu udara pengering 60°C, dengan bahan bakar energi terbarukan dalam hal ini biokerosin. Dengan total waktu pengeringan antara 9-10 jam, jauh lebih cepat jika dibandingkan dengan penjemuran langsung dengan matahari yang membutuhkan waktu 2-3 hari.
- (3) Penggunaan suhu udara pengering 60°C mampu meningkatkan beras kepala menjadi 72-74.3% jika dibandingkan dengan menggunakan suhu 112-116°C, dengan RH; 65-68%. Konsumsi energi spesifik 3.475 MJ/kg uap H<sub>2</sub>O hingga 4.786 MJ/kg uap H<sub>2</sub>O, jauh lebih kecil daripada alat yang dibuat Srinivasa Rao, Bal, Goswami (2007) yang memiliki nilai 8.5 hingga 10.7 MJ/kg uap H<sub>2</sub>O dan efisiensi pengeringan 22.22-31.10%. Konsumsi energi listrik sebesar 0.90 watt/kg produk, sedangkan menggunakan *bucket elevator* 1.35 watt/kg.

### Saran

- (1) Untuk mendapatkan hasil prediksi simulasi yang baik, perlu diperhatikan ketepatan data masukan sesuai dengan bahan yang digunakan.
- (2) Perlu diperhatikan fenomena bridging terutama bahan dengan kadar air yang masih tinggi tetapi aliran yang tidak lancar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Departemen Pendidikan Nasional, atas



dukungan financial melalui Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Tim Penelitian Pascasarjana Nomor: 026/SPPP/PP-PM/DP3M/IV/2005 dan Nomor: 317/SP3/PP-PM/DP2M/II/2006.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [Anonim]. 2003. *Paddy Drying*. Agricultural Engineering Unit. Los Banos: International Rice Research Institute (IRRI).
- Bala, B.K. 1997. *Drying and Storage of Cereal Grains*. New Delhi: Mohan Ptrimlani for Oxford & IBH Publishining Co. Pvt Ltd.
- Abdullah, K. 2007. Pengering surya ERK tipe resirkulasi. Jakarta: Unsada.
- Komuro, H, Hosokawa A, editor. 1995. Rice Post-Harvest Technology, The Food Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan.
- Rao, P.S., Bal, S., and Goswami, T.K. 2007. Modelling and optimization of drying variables in thin layer drying of parboiled paddy. *Journal of Food Engineering*. 78: 480-487.
- Thahir, R. 1986. Analisis Pengeringan Gabah Berdasarkan Model Silindris [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Shei, H.J. dan Chen, Y.L. 2002. Computer simulation on intermittent drying of rough rice. *Drying Technology*. 20(3):615-636.